

BINAS - Ein Entscheidungshilfesystem für die Bestandsanalyse von Bauwerken

Dipl.-Ing. Dang Quang Ngo, TH Darmstadt
Dr.-Ing. Uwe Rüppel, CIP GmbH Darmstadt/Hannover

1 Einleitung

Bauwerke sind in ihrer Betriebszeit vielen nutzungseinschränkenden Einflüssen ausgesetzt. Die dadurch erforderliche Instandhaltung dient zur Gewährleistung und zur Erhöhung der geplanten Nutzungsfähigkeit sowie Dauerhaftigkeit von Bauwerken. Sie spielt eine immer größere Rolle im Bauwesen. Die Kosten der Bauwerksinstandhaltung betragen je nach Art des Bauwerkes in Deutschland pro Jahr ca. 1-6% des Wiederbeschaffungswertes [1]. Die Reduzierung des Instandhaltungsaufwandes durch Technik- und Managementmaßnahmen ist daher wirtschaftlich sinnvoll.

Die in der DIN 31051 definierte Bauwerksinstandhaltung beinhaltet Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes sowie Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes von technischen Mitteln eines Bauwerkes und dient dem Ziel, mit möglichst geringem Kostenaufwand die Funktionstüchtigkeit aller Bauwerkselemente bis zum geplanten Nutzungsende zu gewährleisten. Es ist aber auch denkbar, daß durch eine geeignete Instandhaltungsstrategie die Nutzungsdauer eines Bauwerkes größer wird als ursprünglich geplant. Die Bauwerksinstandhaltung umfaßt die Bereiche der *Wartung*, der *Inspektion* und der *Instandsetzung*. Die regelmäßige *Wartung* beinhaltet die Reinigungs- und Pflegemaßnahmen und dient zur Bewahrung des Sollzustandes eines Bauwerkes. Die systematische *Inspektion* dient zur laufenden Aufnahme und dadurch zur frühzeitigen Erkennung und Beurteilung von nachteiligen Veränderungen von Bauwerks- und Bauteilzuständen. Die *Inspektion* ist daher die Grundlage des *Instandsetzungskonzeptes* sowie der *Instandsetzungsvorbereitung* im Sinne der Planung der Sanierungsarbeiten und -kosten. Die *Instandsetzung* dient zur Wiederherstellung des Sollzustandes eines Bauwerkes.

Zur systematischen und effektiven Durchführung der Bauwerksinstandhaltung existieren unterschiedliche Instandhaltungsstrategien wie die *Inspektionsstrategie*, die *Ausfallstrategie* und die *Präventivstrategie*. Die *Inspektionsstrategie* beinhaltet die regelmäßigen *Inspektion* mit der Absicht, den sich ankündigenden Schaden früh zu erkennen und durch die rechtzeitige *Instandsetzung* zu vermeiden. Anhand der technischen und wirtschaftlichen Vorteile dieser Strategie wird sie als Standardinstandhaltungsstrategie für die Bauwerke im Hoch- und Brückenbau verwendet.

Im Rahmen der Bauwerksinstandhaltung dient die Bauwerksinspektion zur Erfassung, zur Feststellung und zur Beurteilung des Ist-Zustandes von Bauteilen und Bauwerken. Dementsprechend umfaßt sie zwei Bereiche: die *Bestandsaufnahme* und die *Bestandsanalyse*. Auf Basis der *Bestandsaufnahme* sowie der anschließenden *Bestandsanalyse* werden die notwendigen *Instandsetzungsmaßnahmen* festgelegt und durchgeführt. Zur laufenden *Bestandsaufnahme* gehören die Erhebung zur Bauwerksgeschichte, zur Nutzung und Beanspruchung sowie zum Soll-Zustand und die erforderlichen Untersuchungen an Bauteilen und Bauwerken. Eines der Ziele der *Bestandsaufnahme* ist es, eine vielseitige, präzise und aussagekräftige Beschreibung des Ist-Zustandes von Bauwerken zu erstellen. Die durch die *Bestandsaufnahme* erstellte Dokumentation ist die Grundlage für die *Bestandsanalyse*. Die Ziele der *Bestandsanalyse* sind die präzise und objektive Feststellung und Beurteilung von Bauwerkszuständen im Sinne der Standsicherheit und Gebrauchsfähigkeit sowie Dauerhaftigkeit von Bauwerken. In der *Bestandsanalyse* werden die Schadensursachen und Schadensmechanismen sowie die durchzuführenden Sanierungsmaßnahmen ermittelt. Die *Bestandsanalyse* erfordert die Verarbeitung einer Fülle von Informationen des Ist- und Soll-Zustandes von Bauwerken sowie das Vorhandensein von Fachwissen auf unterschiedlichen Gebieten wie Statik, Konstruktion, Bauchemie, Bauphysik, etc. Der Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologie auf dem Gebiet der *Bestandsaufnahme* und -analyse ist erforderlich, um einerseits die Bearbeitung von multimedialen Informationen über Ist- und Soll-Zustände von Bauwerken effektiver durchzuführen und um

andererseits die Analyse von Schäden im Sinne einer Entscheidungshilfe zu unterstützen. Durch den Einsatz der WWW-Technologie kann die Bearbeitung auch verteilt im Datennetz über ferne Rechner hinweg erfolgen.

Im Beitrag werden die Konzeptionierung und Implementierung des WWW-fähigen DV-Systems BINAS zur Unterstützung der Bestandsaufnahme und -analyse sowie die dafür erforderlichen Methoden und Werkzeuge vorgestellt.

2 Das Konzept der virtuellen Inspektion von Bauwerken

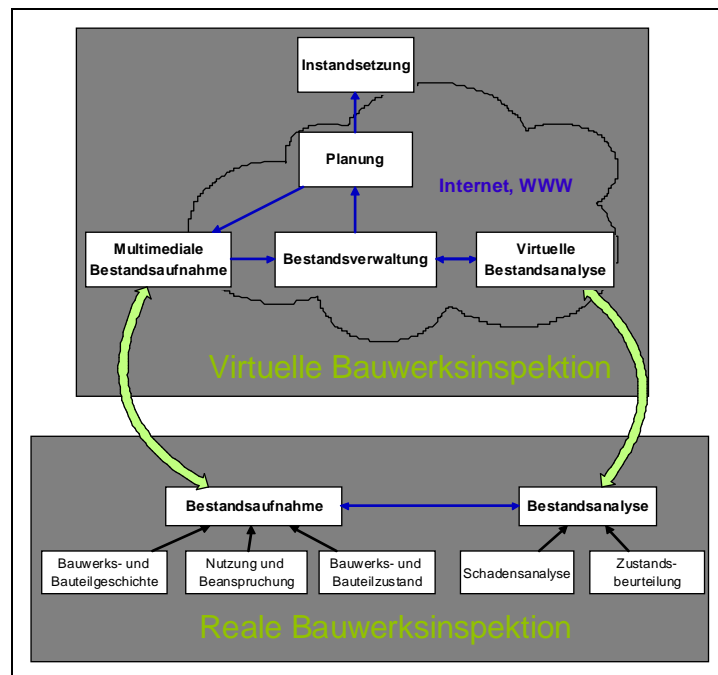


Abb. 1: Das Konzept der virtuellen Inspektion

Die virtuelle Inspektion von Bauwerken (*VIB*) dient zur Unterstützung der "realen" Bauwerksinspektion mittels Computersystemen. Das Hauptziel der *VIB* ist, durch den Einsatz von modernen Technologien und Methoden der Datenverarbeitung die Möglichkeit zu schaffen, das Management und die Bearbeitung der Bauwerksinspektion effektiv zu gestalten und den Fachingenieur optimal zu unterstützen. Das hierfür zu entwickelnde Computersystem sollte so ausgerichtet sein, daß es einerseits die Vorarbeiten der Bauwerksinspektion, wie z.B. die Inspektionsplanung, unterstützt, andererseits als Werkzeug zum Protokollieren der erfaßten Informationen bei der Bestandsaufnahme und auch als Entscheidungshilfe-

system für die Bestandsanalyse dient. Dementsprechend ist das Gesamtsystem in aufgabenorientierte Subsysteme aufzuteilen.

Aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellungen sowie durch den hohen Kommunikationsbedarf werden hypermediale Informations- und Kommunikationstechnologien (INTERNET, WWW etc.) benötigt [1]. Die Sprache des WWW - HTML - wird wegen der Fähigkeit, Daten systemunabhängig zu übertragen und darstellen zu können, als Basis für den Datenaustausch in der *VIB* verwendet.

Der Kern der *VIB* ist die *Bestandsverwaltung*, die die Bestandsdaten der Bauteile und Bauwerke beinhaltet. Die in der Bestandsverwaltung erfaßten Daten sind die Grundlage für die Planung der künftigen Inspektionen, der Instandsetzungen sowie für die Bestandsanalyse. Sie ist daher die Zentrale des Datenaustausches zwischen den einzelnen Subsystemen, die in Abb. 1 dargestellt sind. Die hypermediale Bestandsaufnahme unterstützt die Erfassung des Ist-Zustandes. Das Konzept der *VIB* ist so ausgerichtet, daß es einerseits den Fachingenieuren zur Bereitstellung der für die Analyse benötigten Informationen über Soll- und Ist-Zustände von Bauwerken und andererseits zur Entscheidungsunterstützung für die Ermittlung der Ursachen und Sanierungsmaßnahmen dient. Zum Datenaustausch der Hypermedia-Dokumente via WWW müssen alle Subsysteme geeignete WWW-Schnittstellen sowie einen WWW-Server besitzen.

3 Das Bauwerksinspektions- und Analyse-System

Das Bauwerksinspektions- und Analyse-System (*BINAS*) basiert auf dem Konzept der virtuellen Inspektion von Bauwerken. Gemäß der Spezifikation der VIB besteht *BINAS* aus den in der Abbildung 2 dargestellten Subsystemen.

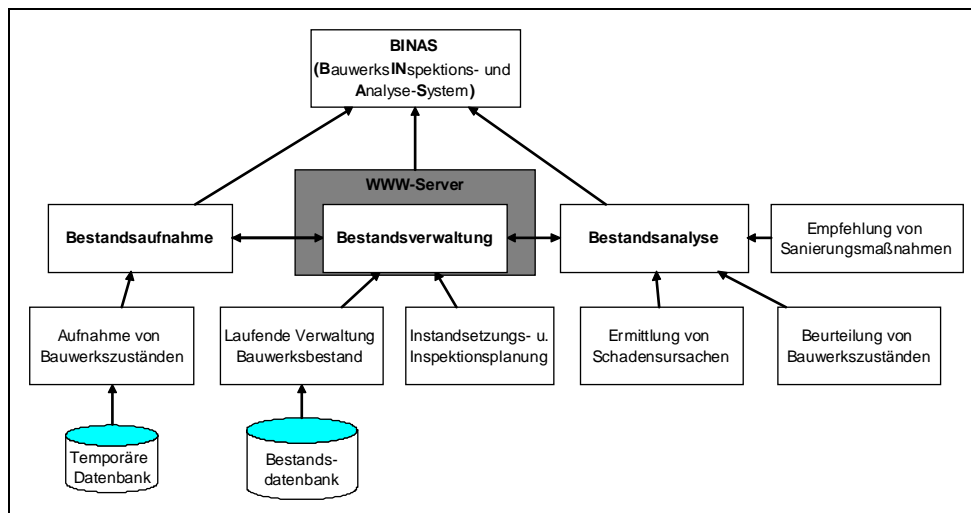


Abb. 2: Architektur des Systems *BINAS*

Das Subsystem *Bestandsverwaltung* dient zur systematischen Verwaltung von Bauwerks- und Bauteilbeständen sowie als Zentrale des Datenaustausches zwischen den Subsystemen und deren Komponenten. Zum Subsystem gehört eine objektorientierte Bestandsdatenbank, ein WWW-Server und Schnittstellen.

Das Subsystem für die hypermediale Bestandsaufnahme umfaßt eine Datenbank zur temporären Speicherung der aufgenommenen Daten, die nach jeder Inspektion auf die Bestandsverwaltung übertragen und dort verwaltet werden, Eingabemasken zum Protokollieren der aufgenommenen multimedialen Bestandsdaten sowie die für die WWW-Kommunikation erforderlichen Schnittstellen.

Die Bestandsanalyse dient zur Entscheidungsunterstützung für die Ermittlung der Schadensursachen. Eine zentrale Komponente des *BINAS* stellt der hypermediale *Bauteilkatalog* dar, in dem die Bauteile nach Kriterien wie z.B. Bauteiltyp, Material, Klima, Nutzungsbedingungen klassifiziert sind. Im Bauteilkatalog werden die für die Inspektion benötigten Informationen wie Inspektionsintervalle, Ist-Zustände sowie Inspektionsmethoden bauteilorientiert vorgehalten. Der Bauteilkatalog schafft für die Bestandsaufnahme eine Arbeitsvorlage, damit die Gebäudedaten schnell und effektiv aufgenommen und bearbeitet werden können. Indem typische Schäden sowie die zugehörigen Informationen wie z.B. Schadensursachen, Einflußfaktoren bauteilorientiert vorstrukturiert sind, bilden sie die Grundlage der Wissensbasis. Aufgrund der Komplexität der Bestandsinformationen und der Wissensbasis werden für die Implementation objektorientierte Informationstechnologien benötigt. Diesbezüglich wurden die Bestandsdatenbank sowie der Bauteilkatalog in der objektorientierten Datenbank *POET* implementiert.

3.1 Das Subsystem für die Bestandsanalyse

Das Subsystem für die Bestandsanalyse umfaßt die in Abbildung 3 dargestellten Komponenten. Die hypermediale Benutzungsschnittstelle auf Basis der WWW-Technologie dient zur im INTERNET verteilten Bearbeitung der Bauwerksdaten. Die Analysekomponente besteht aus einer Wissensbasis, in der die aus Erfahrungen von Fachleuten sowie aus Normen gewonnenen Strategien und Regeln zur Schadensanalyse gespeichert werden, und einer Inferenzkomponente, die dazu dient, Daten (Fakten) dem Wissen in der Wissensbasis zuzuordnen, zu bearbeiten und Schlußfolgerung der Analyse zu

ziehen. Die Schadensanalyse basiert auf die Mustervergleich-Methode. Bei dieser Methode wird die Lösung eines Problems aus einer Menge ähnlicher und gelöster Probleme - die Muster - extrahiert.

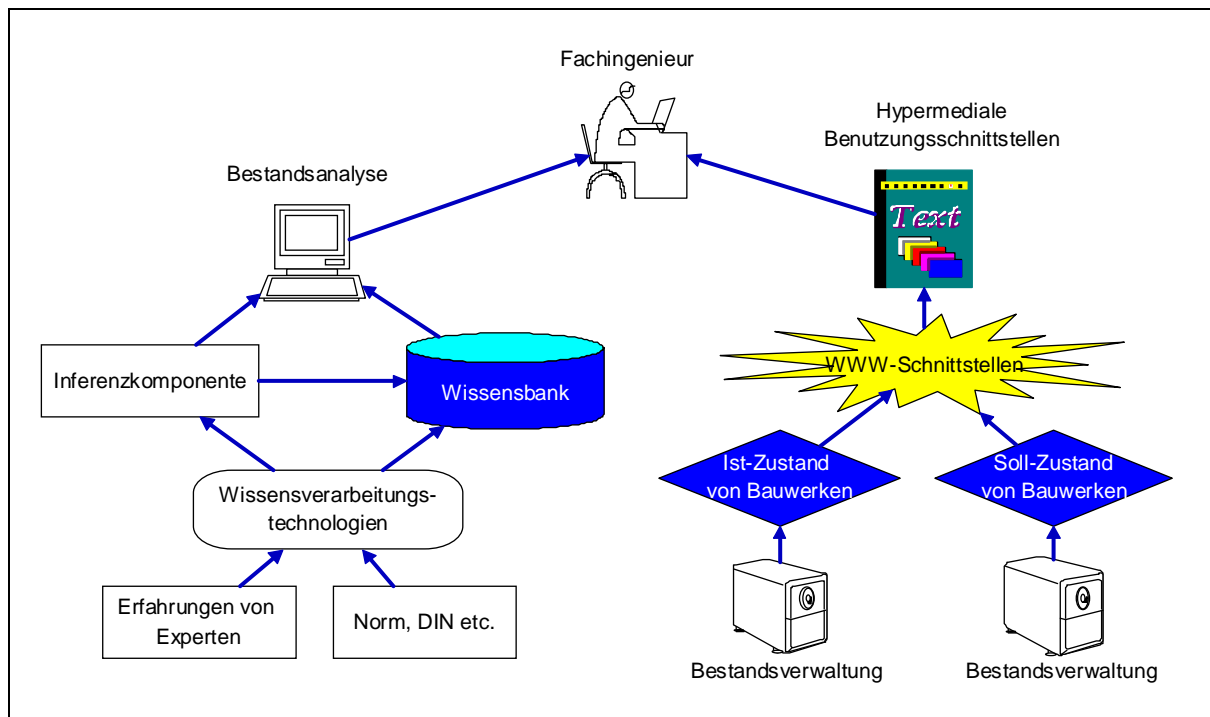


Abb. 3: Architektur des Subsystems für die Bestandsanalyse

Die Strukturierungsform der Wissensbasis spielt eine wesentliche Rolle für die Anwendung und Erweiterbarkeit des Systems. Gemäß der Spezifikation von schadensverursachenden Einwirkungsfaktoren sind die Schäden an Beton- und Stahlbetonbauwerken außerordentlich vielfältig und für die Schadensanalyse sind abgesehen von wenigen Trivialfällen eine Fülle von Information erforderlich. Dies erfordert eine geeignete Datenstrukturierungsform, die effizient und erweiterbar sein muß.

Ein Bauteil des Bauteilkataloges besitzt neben Attributen wie z.B. Material, Konstruktion, Klima und Nutzungsbedingungen zusätzlich Informationen über typische Schäden. Ein Schaden kann prinzipiell von vielen Einwirkungen und/oder Kombinationen zwischen ihnen verursacht werden. Sie sind die möglichen Ursachen des vorhandenen Schadens und müssen durch Regeln verifiziert werden. Unter Regeln werden hierfür die aus Expertenwissen sowie aus Normen hergeleiteten Funktionen verstanden, die bestimmen, unter welchen Bedingungen aus den möglichen Ursachen die richtige Ursache für den zu analysierenden Schaden zu ermitteln ist. Zu berücksichtigende Fakten sind hier z.B. Bauteil- und Bauwerkseigenschaften sowie Informationen über Klima- und Nutzungsbedingungen. In Abbildung 4 ist die Datenstruktur der Wissensbasis dargestellt. Die Datenstruktur der Wissensbasis wurde so entworfen, daß sie die rückwärtsverkettend arbeitende Inferenzkomponente unterstützt. Mit der Inferenzkomponente werden aus bekannten Fakten Schlußfolgerungen hergeleitet. Die meisten Regeln der Wissensbasis sind aus der Literatur und aus Erfahrungswissen gewonnen und sind daher nicht immer vollständig und eindeutig. Die vom Benutzer oder anderen Applikationen gewonnenen Fakten enthalten darüber hinaus Unsicherheiten. Diesbezüglich muß das System in der Lage sein, unscharfe Inferenz durchführen zu können. Zum Aufbau der unscharfen Inferenz wird hierfür das Fuzzy-Set Modell verwendet [2]. Zur Implementation der Inferenzkomponente wird eine PROLOG-Maschine verwendet, die sowohl deklaratives als auch prozedurales Wissen verarbeiten kann. Ein weiterer Vorteil der PROLOG-Maschine besteht darin, daß die Datenstruktur zur Laufzeit verändert werden kann. Dies ist für die Erweiterbarkeit der Wissensbasis erforderlich.

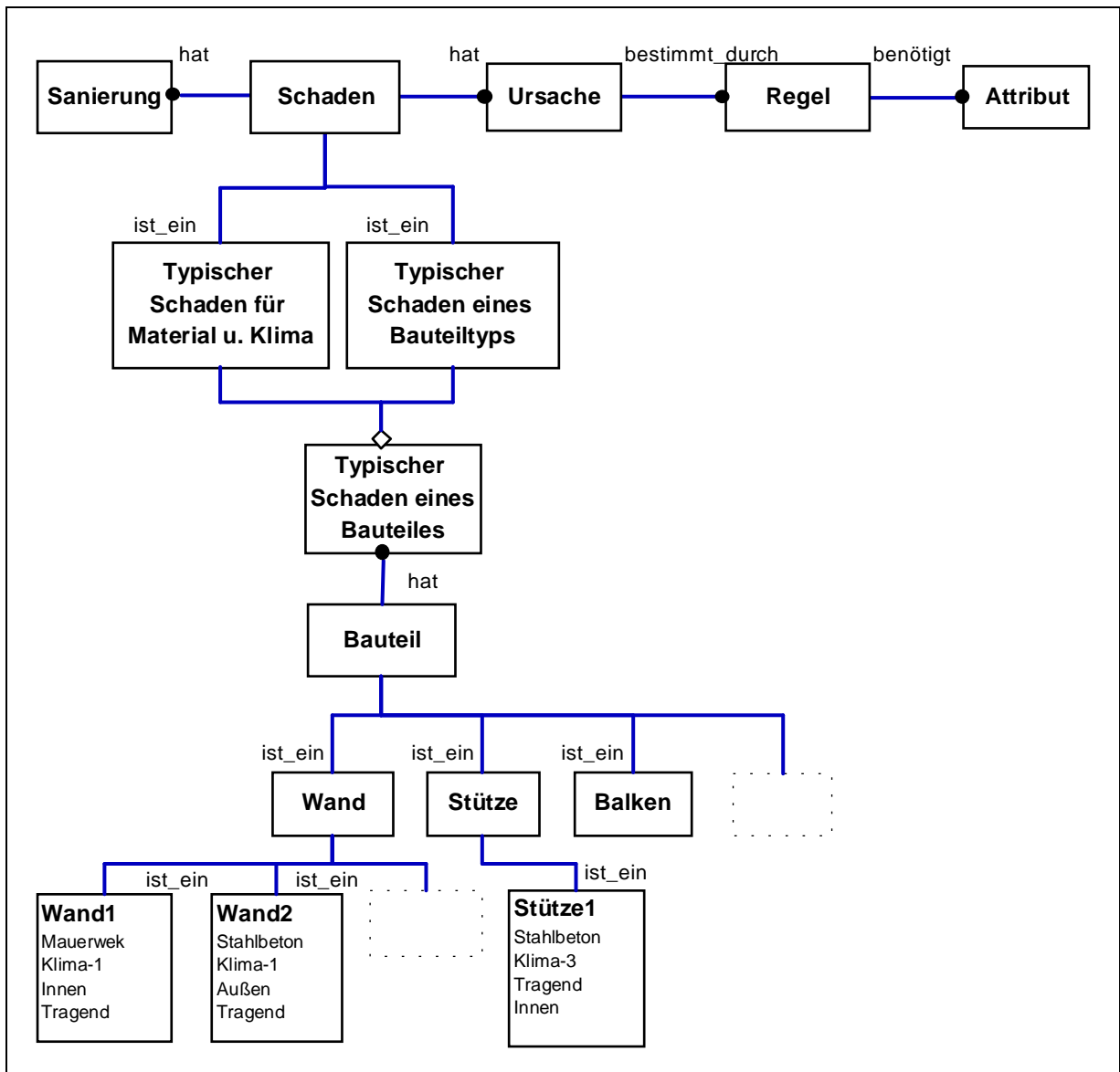


Abb. 4: Datenstruktur der Wissensbasis

4 Anwendungsbeispiel

Zu Beginn beschreibt der Benutzer den Schaden unter Zuhilfenahme von typischen Schäden des Bauteilkataloges in einem hypermedialen WWW-Browser (Abb. 5). Die möglichen Ursachen für den Schaden und deren Regeln in der Wissensbasis werden in einer prioritätsbedingten Reihenfolge bearbeitet. Anschließend werden die Daten via INTERNET an den WWW-Server der Bestandsverwaltung übermittelt. Auf der Basis dieser Daten erfolgt die Schadensanalyse. Als Ergebnisse der Analyse werden die möglichen Ursachen zusammen mit deren Zuverlässigkeit in der multimedialen Benutzerumgebung dargestellt. Die Schadensmechanismen einer gegebenen Ursache werden schließlich ermittelt und als Entscheidungshilfe dem Benutzer angezeigt. Die endgültige Entscheidung über die Schadensursachen sowie -mechanismen müssen anschließend vom Fachingenieur getroffen werden.



Abb. 5: Schadensaufnahme im BINAS

5 Zusammenfassung

Die Bauwerksinstandhaltung im allgemeinen und die Bauwerksinspektion im speziellen erfordern eine DV-Unterstützung zur Bearbeitung einer Fülle von Informationen. Multi- und Hypermedia, INTERNET und WWW sowie Wissensverarbeitungstechnologien stellen die mächtigen Grundwerkzeuge zur Lösung der Problemstellung dar. Das vorgestellte Konzept VIB sowie das System BINAS auf der Basis der WWW-Technologie sind geeignet, die Umsetzung der traditionellen Bearbeitung der Bauwerksinspektion auf Computersystemen in Datennetzen wie dem INTERNET zu unterstützen.

6 Literatur

- [1] Rüppel, U.: *Ingenieurtechnische Überwachung baulicher Anlagen mit Multi- und Hypermedia*. Fachzeitschrift "Bautechnik", Heft 2/96 (S. 54 - 63), Verlag Ernst&Sohn, Berlin 1996.
- [2] Ngo, D Q, et al.: *Multimedia und objektorientierte Analyse zur virtuellen Bauwerksinspektion*. Forum Bauinformatik, Junge Wissenschaftler Forschen, Cottbus, 1996